

RESPOSTA AGRONÔMICA DO ARROZ SOB EFEITO DE DOSES DE FOSFATO DE ROCHA

Oswaldo José Ferreira Junior¹, Gilberto Coutinho Machado Filho¹, Lucas Eduardo Morais Brito², Gekson Ribeiro Aguiar³, João Francisco de Matos Neto³, Manoel Mota dos Santos⁴

RESUMO:

O fósforo (P) é um importante nutriente para a produtividade da cultura do arroz. No entanto, ocorre baixa eficiência da adubação nos solos do Tocantins, e o aumento nos custos de insumos torna os fosfatos naturais uma alternativa econômica. O objetivo deste trabalho foi avaliar características agronômicas na cultura do arroz (*Oryza sativa*) sob efeito de doses de fosfato natural reativo. O experimento foi realizado em casa de vegetação entre os meses de janeiro e abril de 2020. Os tratamentos consistiram em quatro doses de rocha fosfatada + dois controles adicionais (Phosactiv[®] e superfosfato triplo), conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições. As unidades experimentais foram compostas por vasos com capacidade para 10 dm⁻³, onde foram semeadas cinco sementes de arroz por vaso, cultivar IRGA-424, efetuando-se o desbaste para obter duas plantas por vaso. Foram avaliadas a altura de planta; a massa de grãos por planta; o número de panículas por planta, o número de perfilho por planta e o número de grãos por panícula. Além disso, foi avaliado o teor de P pelos métodos Mehlich (P-meh) e resina (P-res), além do pH e o teor de cálcio (Ca). Verificou-se que a rocha fosfatada exerceu maior influência na altura de plantas e número de grão por panícula no arroz nas doses de 295, 62 e 300 kg ha⁻¹ comparado ao fosfato natural comercial. O fosfato natural reativo incrementou mais P no solo do que o superfosfato simples na mesma dose testada.

Palavras-chave: rochagem; fertilidade do solo; remineralizador; rizicultura.

AGRONOMIC RESPONSE OF RICE CROP UNDER EFFECT OF ROCK PHOSPHATE DOSES

ABSTRACT:

Phosphorus (P) is an important nutrient for rice crop productivity. However, low fertilization efficiency occurs in Tocantins soils, and the increase in input costs makes natural phosphates an economical alternative. The objective of this work was to evaluate agronomic characteristics in rice (*Oryza sativa*) under the effect of doses of reactive natural phosphate. The experiment was carried out in a greenhouse between January and April 2020. The treatments consisted of four doses of phosphate rock and two additional controls (Phosactiv[®] and triple superphosphate), conducted in a completely randomized experimental design, with four replications.

¹Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. Universidade Federal do Tocantins. Gurupi – TO. jr_uft@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6058-611X>. coutinhoagro@hotmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3637-9644>.

² Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. Universidade Federal do Tocantins. Gurupi – TO. lucas_morais_uft.edu.br ; <https://orcid.org/0000-0002-1487-795X>.

³ Graduado em Agronomia. Universidade Federal do Tocantins. Gurupi – TO. geksonaguiar@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7497-1032>. joaonetomatos@mail.uft.edu.br; <https://orcid.org/0000-0003-1541-4575>.

⁴Professor do colegiado de Agronomia. Universidade Federal do Tocantins. Gurupi – TO. santosmm@mail.uft.edu.br; <https://orcid.org/0000-0002-6984-1399>

The experimental units consisted of pots with a capacity of 10 dm⁻³, where five rice seeds were sown per pot, cultivar IRGA-424, thinning to obtain two plants per pot. Plants height were evaluated; the mass of grains per plant; the number of panicles per plant, the number of tillers per plant and the number of grains per panicle. In addition, P content was evaluated by Mehlich (P-meh) and resin (P-res) methods, in addition to pH and calcium content (Ca). It was found that phosphate rock exerted a greater influence on plant height and the number of grains per panicle in rice, at doses of 295,62 and 300 kg ha⁻¹ compared to commercial natural phosphate. Reactive natural phosphate increased more P in the soil than simple superphosphate at the same tested dose.

Keywords: enhanced rock weathering; soil fertility; remineralizer; rice cultivation.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o nono maior produtor de arroz do mundo, atrás de grandes produtores como China, Índia e Indonésia (FAO, 2018). A rizicultura é de grande importância nacional, pois o cereal está presente na mesa da maioria da população brasileira. Apesar de não ser uma *commodity*, apresenta-se como a quinta cultura mais cultivada no Brasil (Sidra, 2020). Na safra 2020/21 a produção do grão chegou a um patamar de 11.747 toneladas, em uma área estimada em 1.677 hectares em todo o território nacional (Conab, 2021).

O Tocantins foi responsável pela produção de 692 mil toneladas em área cultivada de 124,4 mil ha, sendo a área irrigada de 108 mil ha, correspondendo a 656 mil toneladas de produção (Conab, 2021).

Dentre os fatores que são de suma importância para atingir o teto produtivo elevado, destaca-se os aspectos nutricionais da cultura sendo o fósforo (P) um dos nutrientes essenciais para a determinação da produtividade, sobretudo para perfilhamento e qualidade dos grãos (Santiago et al., 2013).

Para a produção de arroz, o P é o segundo nutriente limitante, perdendo apenas para o nitrogênio, sendo que a maior parte do P aplicado no solo é adsorvido pelos óxidos de ferro e alumínio, ou é precipitada no solo, tornando o nutriente não disponível às plantas (Veloso et al., 2009). Logo, a recomendação da adubação fosfatada se faz necessária em doses maiores de P_2O_5 da recomendada para cultura, pois deve ser considerado a eficiência da adubação no solo em função do poder tampão do solo.

Quanto ao tipo de fertilizantes fosfatados usados no Brasil, a forma predominante são os acidulados, que são obtidos através de tratamento por ácidos em rochas fosfatadas, como o superfosfato simples (SFS) e o triplo (SFT) (Lima, 2018). Além disso, há os fosfatos naturais chamados reativos, fosforitas de origem sedimentar, em geral com 10 a 12 % de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico e com teores de P_2O_5 total de 28 a 30 %, os quais são fontes comparáveis aos fosfatos acidulados (Ribeiro, 1999). Esses fertilizantes fosfatados podem minimizar a fixação de P ao solo, além de reduzir o custo da adubação (Cabral et al., 2016). Assim, o fosfato natural reativo (FNR) vem se mostrando uma alternativa no manejo das lavouras, devido sobretudo ao seu menor custo quando comparado às formulações aciduladas, pois, para a sua obtenção a

rocha não recebe nenhum tratamento específico para aumento de solubilidade (César, 2019), apenas a moagem do material.

Isso corrobora com o presente cenário econômico do país, pois os preços dos insumos agrícolas estão cada vez mais altos, o que para o produtor é um problema, uma vez que haverá maior investimento na próxima safra para produzir a mesma quantidade comparado à safra anterior. Por essa razão, o produtor busca por alternativas mais baratas e/ou mais eficientes para aumentar as produtividades.

Tendo em vista que fontes de fosfatos mais solúveis apresentam um custo mais elevado e as fontes de P são escassas, é importante testar a eficiência de fontes mais baratas (Lange et al., 2016). Pensando nisso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de doses de fosfato natural reativo no desempenho da cultura do arroz e nos teores nutricionais do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação, na Universidade Federal do Tocantins, campus de Gurupi, entre os meses janeiro e abril de 2020, localizada nas coordenadas geográficas 11°43'34.78"S e 49°4'0.33"O, 280 m de altitude. O clima predominante é do tipo B1wA'a' úmido com chuvas máximas no verão (Alvares et al., 2013).

O solo foi coletado de um Latossolo Vermelho-Amarelo, da camada de 0-20 cm, em condições de vegetação nativa na região sul do estado do Tocantins no município de Gurupi – TO e submetido a caracterização química e granulométrica, segundo Teixeira et al. (2017), descritas na Tabela 1.

Os tratamentos foram compostos por cinco doses de rocha fosfatada (0, 75, 150, 225 e 300 kg de P_2O_5 ha⁻¹) e duas testemunhas adicionais, sendo T1–fosfato natural reativo (Phosactiv[®]) (150 kg de P_2O_5 ha⁻¹) e T2–superfosfato simples (150 kg de P_2O_5 ha⁻¹). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. A rocha fosfatada foi extraída e moída pela Indústria Rialma Fertilizantes em Taipas do Tocantins – TO, apresentando as seguintes características: granulometria de 100% passante em 2 mm, 77% passante em 0,3 mm e 45% passante em 0,075 mm, com as características químicas descritas na Tabela 2.

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica do solo anterior ao início do experimento, Gurupi – TO, 2020.

Ca	Mg	Al	H+Al	K	CTC (T)	SB	CTC(t)	K	P-Resina
-----cmol _c dm ⁻³ -----							-----mg dm ⁻³ -----		
0,80	0,4	0,00	2,00	0,06	3,26	1,26	3,06	25	7,0
V	m	M.O.	pH _{CaCl2}	Areia			Silte	Argila	
-----%-----		mg dm ⁻³		----- (g kg ⁻¹) -----					
39,00	0	1,20	5,5	600			75	325	

T: capacidade de troca de cátions; t: capacidade efetiva de troca de cátions; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio.

Tabela 2. Descrição da composição química da rocha fosfatada de Rialma. Gurupi/TO, 2020.

SiO ₂	CaO	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	FeO ₂	N ₂ O	TiO ₂	MnO
-----%									
58,03	12,14	9,30	2,57	1,72	7,47	3,72	0,12	0,40	0,30

As unidades experimentais foram compostas por vasos de polietileno com capacidade para 10 dm³. O solo foi seco, peneirado, e colocado nos vasos, realizando-se a calagem em todos os recipientes com calcário dolomítico tipo filler PRNT 100% (2.000 kg ha⁻¹) com a finalidade de elevar a saturação de base para 60%. Em seguida, foi realizada a incorporação de todas as fontes de P referentes aos tratamentos, misturando em todo o solo.

Foram semeadas cinco sementes de arroz (*Oryza sativa*), cultivar IRGA-424, por vaso, efetuando-se o desbaste para obter duas plantas por vaso. Os tratamentos culturais para a cultura seguiram as recomendações de Ribeiro et al. (1999), sendo realizadas adubação de cobertura com 150 kg N ha⁻¹ (Ureia) e 150 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio) parceladas em 3 aplicações. Ainda, foi realizada aplicação de fungicidas e inseticidas durante o ciclo da cultura observando a intensidade de pragas.

Após a maturação fisiológica da cultura, foram avaliadas as seguintes características agrônômicas: altura de planta (AP, cm), com o auxílio de uma fita métrica; número de panículas por planta (NPAP); número de perfilho por planta (NPEP); número de grãos por panícula (NGP) por meio de contagem direta; massa de grãos por planta (MGP), em g, com uma balança de bancada.

Ainda, após a colheita da cultura, o solo de cada unidade experimental foi peneirado, homogeneizado e coletado para análise. As análises químicas realizadas no solo foram: fósforo (P) sendo extraído por Mehlich-1 (0,0125 mol L⁻¹ de H₂SO₄ e 0,05 mol L⁻¹ de HCl); P extraído pelo método de resinas trocadoras de ânions (P-res), quantificado por

espectrofotometria UV-Vis; pH, sendo determinado em CaCl₂ (relação 1:2,5); e teor de cálcio (Ca) trocável, extraído por KCl à 1 mol L⁻¹ (Teixeira et al., 2017).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA, p ≤ 0,05), utilizando a regressão para as doses, ajustando conforme o nível de significância dos betas e dos coeficientes de determinação (R²). Já para comparação entre as testemunhas e as doses utilizou-se o teste de Dunnett (p ≤ 0,05) pela ferramenta Bootstrap presente no software SISVAR versão 5.7.0.91 (Ferreira, 2019) e os gráficos confeccionados no software SigmaPlot versão 12.0[®] (Systat Software, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variância (Tabela 3), foi observado efeito significativo entre os contrastes das doses com os controles nas seguintes variáveis analisadas: altura de planta, número de panícula, número de perfilho, número de grão por planta, massa de grão, P mehlich, P resina e teor de Ca no solo.

Na figura 1A o resultado da análise apresentou uma regressão polinomial de segundo grau, demonstrando o comportamento da variável altura de planta de arroz em resposta a diferentes doses de P₂O₅ da fonte rocha fosfatada e dois controles, T1 (150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ da fonte fosfato natural reativo – FNR) e T2 (150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ da fonte superfosfato simples - SFS). Observa-se que a máxima eficiência estimada para a variável altura de plantas foi obtida na dose de 295,62 kg ha⁻¹ P₂O₅, obtendo 63,84 cm de altura.

Tabela 3. Resumo da análise de variância das características agronômicas e do solo para altura de planta (AP), número de panícula por planta (NPAP), número de perfilho por planta (NPEP), número de grãos por planta (NGP), massa de grão por planta (MGP), P mehlich mg dm⁻³ (P mel), P resina mg dm⁻³ (P res), potencial hidrogeniônico (pH), cálcio cmol_c dm⁻³ (Ca), de plantas de arroz submetidos a doses de rocha fosfatada aplicada diretamente no solo, Gurupi-TO, 2020.

F.V	GL	Quadrado Médio								
		AP	NPAP	NPEP	NGP	MGP	P meh	P res	pH	Ca
Trat.	6	63.74*	48.81*	34.01 ^{ns}	611.85*	106.56*	2757.92*	1173.21*	0.18 ^{ns}	247.39*
Doses (D)	4	37.08*	72.08*	6.90 ^{ns}	691.46 ^{ns}	158.70*	3183.03*	1488.84*	0.20 ^{ns}	259.71*
Test. (T)	1	231.13*	0.03 ^{ns}	0.50 ^{ns}	903.34*	4.50 ^{ns}	3158.93*	997.03*	0.30 ^{ns}	388.93*
D vs T	1	3.00*	4.50*	176.01*	1.90*	0.06*	656.46*	86.86*	0.001 ^{ns}	56.54*
Erro	21	7.33	8.62	33.47	199.68	14.61	167.80	57.51	0.14	54.76
Média		61.35	15.57	33.16	85.70	22.32	61.84	40.48	5.41	32.20
CV %(a)		4.41	18.85	17.45	16.49	17.12	20.95	18.73	6.98	22.98

Trat. = tratamento, Test. = Testemunha, ns = Não significativo; * = Significativo a 5 %. FV = Fonte de Variação; GL = Grau de Liberdade; CV = Coeficiente de Variação.

As doses 0 e 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅ da rocha fosfatada não tiveram diferença comparado ao FNR (T1), bem como as doses de 150, 225 e 300 kg ha⁻¹ P₂O₅ não diferiram da aplicação de SFS (T2). Isso demonstra que, a partir da dose de 150 kg ha⁻¹ de rocha fosfatada se tem uma superioridade à aplicação de 150 kg ha⁻¹ de FNR; ao mesmo tempo que a partir desta mesma dose há uma equivalência à aplicação de 150 kg ha⁻¹ de SFS. A altura de planta é influenciada pela quantidade de P disponível (Fageria et al., 1982). Os resultados corroboram com Lange et al. (2016) onde o acréscimo de 120 kg de P₂O₅ favoreceu o aumento da altura de plantas de arroz.

Na Figura 1B é demonstrado o comportamento da variável, número de panículas por planta de arroz para os tratamentos analisados. Observa-se que a máxima eficiência estimada para essa variável foi obtida na dose de 215,52 kg ha⁻¹ de P₂O₅, obtendo uma média de 19,12 panículas por planta. O contraste não apresentou diferença para as doses 75, 150, 225 e 300 kg ha⁻¹ com relação aos controles (T1 e T2), sendo que somente a dose 0 kg ha⁻¹ foi inferior aos controles.

A adubação fosfatada exerce vários efeitos na cultura do arroz, sendo os mais importantes o

aumento dos componentes da produtividade, em especial o número de panículas por área (Veloso et al., 2009). Lange et al. (2016) também observaram que ao submeter a cultura do arroz às doses de P₂O₅ corretiva (superfosfato triplo) houve incremento no número de perfilhos por metro, assim como no número de panículas comparado ao FNR.

Para a variável do número de perfilhos por planta não houve diferença em relação às doses de rocha fosfatadas comparadas aos controles (T1 e T2) (Figura 1C), e o ponto de máxima eficiência estimada foi obtido na dose 179,16 kg ha⁻¹ de rocha fosfatada apresentando 32,78 perfilhos por planta. Lange et al. (2016) analisando o uso de superfosfato simples e fosfato natural (Arad) não verificaram diferença entre os tratamentos para número de perfilhos, o que corrobora com os resultados desse trabalho.

O número de grãos por panícula obteve comportamento linear crescente em relação às doses de rocha fosfatada aplicada (Figura 2D), e obteve maiores valores na dose de 300 kg ha⁻¹ (103,33 grãos por panícula). Foi observado também que esta dose foi superior aos controles; no entanto, as demais doses apresentaram equivalência aos T1 e T2.

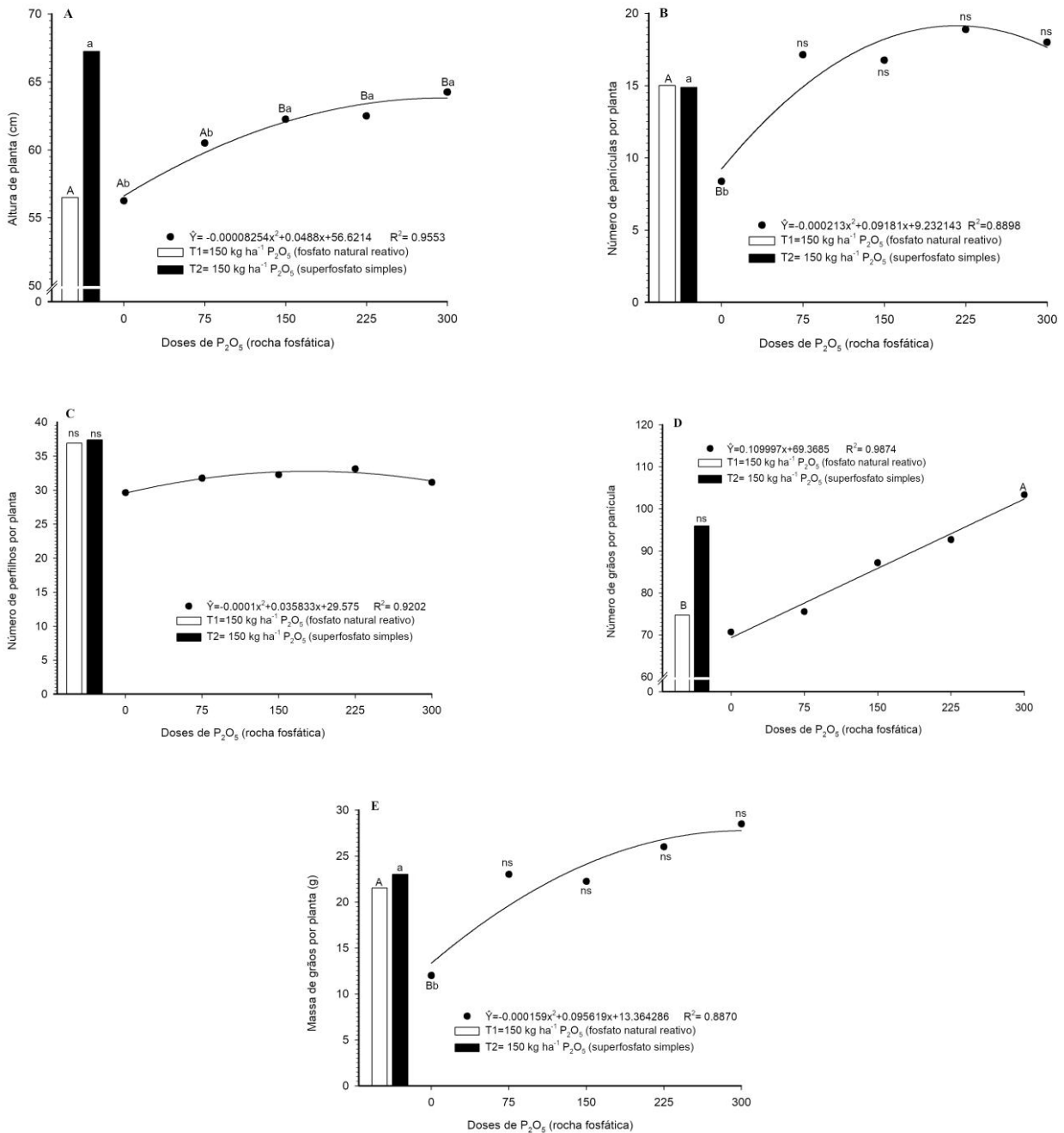


Figura 1. Altura de plantas (A), número de panículas (B), número de perfilhos (C), número de grãos (D) e massa de grãos por planta (E) de arroz em função de aplicação de doses de rocha fosfatada e dois controles como fonte de P. Gurupi-TO, 2020. Regressão em função de doses de P_2O_5 $kg\ ha^{-1}$ de rocha fosfatada. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem estatisticamente de T1 e T2, respectivamente, pelo teste de Dunnet ($p \leq 0,05$). ns: diferença não significativa a $p \leq 0,05$.

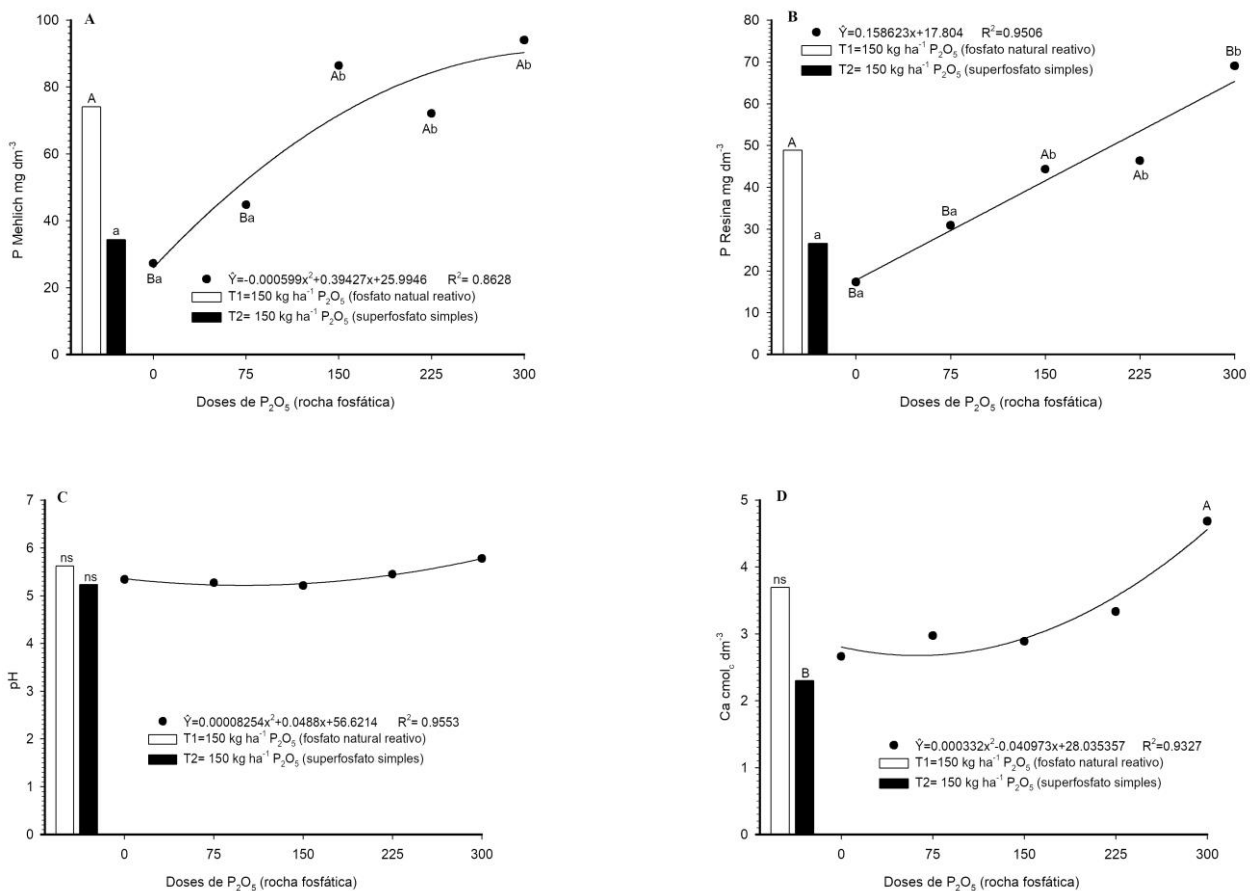


Figura 2. Extração de P por Mehlich (mg dm^{-3}) (A), extração de P por resina (mg dm^{-3}) (B), valores de pH (CaCl_2) (C) e teor de Ca ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) (D) em função de aplicação de doses de rocha fosfatada e dois controles como fonte de P, Gurupi-TO, 2020. Regressão em função de doses de $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ kg ha}^{-1}$ de rocha fosfatada. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem estatisticamente de T1 e T2, respectivamente, pelo teste de Dunnet ($p \leq 0,05$). ns: diferença não significativa a $p \leq 0,05$.

O aumento da disponibilidade de P, Ca e elevação da saturação por bases, ocasiona um aumento no número de grãos cheios (Barbosa Filho et al., 2004), o que pode ser observado no presente trabalho, pois a fonte fosfatada estudada possui consideráveis teores destes nutrientes. Com o aumento das doses da rocha fosfatada houve resposta positiva para o número de grãos cheios. Além disso, para Lange et al. (2016), as fontes SFS e o FNR não apresentaram diferença para número de grãos por panícula. Tal resultado apresenta uma similaridade com o presente trabalho quando se compara a dose de 150 kg ha^{-1} de rocha fosfatada com SFS.

A massa de grãos por planta (Figura 1E) obteve um resultado similar à característica número de panículas por planta (Figura 1D), onde somente a dose 0 kg ha^{-1} foi inferior aos controles. As doses

aplicadas obtiveram um comportamento quadrático, no qual observou-se que a máxima eficiência estimada foi obtida com $300,68 \text{ kg ha}^{-1}$ da rocha fosfatada, resultando em $27,74$ gramas de grãos por planta. Gomes et al. (2005) testando diferentes fontes fosfatadas (SFS e FNR), de maneira isolada e combinada, notaram ausência de resposta à produtividade do arroz no primeiro ano de cultivo, atribuindo o resultado ao fato da cultura apresentar a capacidade de absorção de P mesmo em baixos teores no solo (Vahl, 1999).

Em relação ao efeito dos tratamentos no solo, as doses aplicadas de rocha fosfatada apresentaram comportamento quadrático para o teor de P-Mehlich, no qual observou-se que o maior teor de P obtido foi de $90,87 \text{ mg dm}^{-1}$, estimando-se a aplicação de máxima eficiência de $329,11 \text{ kg ha}^{-1}$ de rocha

fosfática (Figura 2A). Em comparação aos controles, pode-se afirmar que as doses de 150, 225 e 300 kg ha⁻¹ da rocha fosfatada foram superiores ao SFS. Com relação às mesmas doses, observa-se igualdade ao tratamento com FNR, e essa sendo superior às doses 0 e 75 kg ha⁻¹. Silva et al. (2008) e Gonçalves e Meurer (2008) citaram que o uso deste método de extração de P proporciona maiores teores de P quando se trata de solos sazonalmente alagados. Este fato foi observado neste estudo, quando analisamos os resultados da extração por resina.

Um fator que, possivelmente, surtiu efeito na disponibilidade do P em função das doses de rocha fosfatada foi o teor de óxidos de silício (58,03%) (Tabela 2), pois com a liberação do ânion silício na solução do solo, há uma redução dos drenos de adsorção do fosfato, resultando em maiores teores do P na solução do solo (Gillman et al., 2002). A disponibilidade de P em função das doses aplicadas também pode estar relacionada com a capacidade de solubilização do pó de rocha em influenciar a liberação de exsudatos radiculares, ocasionando alterações químicas na rizosfera das plantas (Li et al., 2014).

Os teores de P em resina (Figura 2B) observados com aplicação de doses de rocha fosfatada obtiveram um comportamento linear crescente, onde os maiores teores foram observados com uso de 300 kg ha⁻¹ (69,07 mg dm⁻³). Nota-se também que a dose 300 kg ha⁻¹ foi superior ao FNR. Além disso, as doses de rocha fosfatada de 150, 225 e 300 kg ha⁻¹ apresentaram superioridade ao SFS quanto a essa variável.

Quando analisados os dois métodos, há resposta diferente entre modelos matemáticos, bem como maior teor de P mg dm⁻³ no extrator Mehlich (Figura 2A). Isso ocorre devido ao método de extração (Mehlich 1) utilizar um extrator fortemente ácido (ácido clorídrico + ácido sulfúrico), sendo assim, existe a possibilidade de extrair elementos de P ligados ao cálcio, mas que não se encontram disponíveis às plantas, superestimando os teores. Sendo assim, não apresenta boas correlações com os rendimentos das culturas (Raij e Diest, 1980).

Já a resina de troca aniônica simula o comportamento do sistema radicular na absorção de P. Tal processo causa adsorção de P da solução nas

cargas positivas da resina, com isso, o P adsorvido na superfície das partículas do solo é removido, repondo o P da solução, estabelecendo a troca. Dessa maneira, a resina não superestima o P disponível em solos adubados com fosfatos naturais, como acontece nos extratores ácidos (Raij, 1978). Ressalta-se que a dissolução do FNR aplicado ao solo é afetada pelo pH e pelos teores de Ca e P do solo.

Os valores de pH (Figura 2C) demonstraram que não houve diferença entre as doses de rocha aplicadas em relação aos dois controles, provavelmente pelo fato que houve aplicação de calcário em todos os tratamentos anteriores à instalação do experimento. O presente trabalho corrobora com alguns autores que não observaram alteração no valor do pH quando se aplica o pó de rocha (Sustakowski, 2021; Alovisi et al., 2017; Silva et al., 2012; Rocha Neto, 2020). Em contrapartida, outros estudos realizados com pó de rocha apresentaram elevação nos teores de pH (Martins et al., 2015; Batista, 2017; Toscani e Campos, 2017; Alovisi et al., 2020). Quando ocorre elevação nos teores de pH após aplicação de pó de rocha, associa-se este fenômeno, provavelmente a reação dos óxidos Ca e Mg, que se encontram neste material, liberando assim OH⁻ (Alovisi et al., 2020).

Para o teor de Ca (Figura 2D), houve um aumento em função da aplicação das doses de rocha fosfatada, com um comportamento quadrático e crescente para o nutriente. Na dose de 0 kg ha⁻¹ foi constatado um teor de 2,6 cmolc dm⁻³, chegando a 4,6 cmolc dm⁻³ com a aplicação de 300 kg ha⁻¹, elevação de 76,92%. As doses crescentes da rocha fosfatada apresentaram-se iguais à aplicação de SFS; no entanto, a dose de 300 kg ha⁻¹ apresentou-se superior à aplicação de FNR, demonstrando um aumento de 104%. Essa elevação ocorre em virtude de a rocha fosfatada possuir considerável concentração de Ca em sua composição, cerca de 12,14 % de CaO (Tabela 2), resultando em aumento nos teores desse nutriente no solo. Esses dados corroboram com os encontrados por Alovisi et al. (2020), que avaliaram a disponibilidade de Ca após a adubação com pó de em 120 dias, encontrando teores do nutriente em torno de 3,2 cmolc dm⁻³.

Ressalta-se que a disponibilidade de nutrientes nos solos combinada com pó de rocha está

diretamente relacionada à granulometria da rocha, pois quanto menor a granulometria, maior será a superfície de contato aos agentes de solubilização de minerais (químicos, físicos e biológicos), resultando numa rápida alteração do mineral e disponibilidade do nutriente (Osterroht, 2003). A granulometria do fosfato de rocha utilizado no presente trabalho pode ter contribuído para os resultados obtidos nos teores de Ca e P, pois 77% do produto é passante em peneira de 0,3 mm, estando esta porcentagem dentro dos padrões mínimos exigidos (mínimo 50% em 0,3 mm) pela Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016 (Brasil, 2016).

CONCLUSÃO

A rocha fosfatada de Rialma exerceu maior influência nas características altura e número de grão por panícula de arroz nas doses de 295,62 e 300 kg ha⁻¹ comparado ao FNR comercial. As características número de panícula, perfilhos e massa de grãos por panícula não apresentaram diferença significativa na mesma dose testada de 150 kg ha⁻¹ de superfosfato simples. Os métodos de extração de P-meh e P-resina demonstraram que o fosfato natural reativo incrementou mais P no solo do que o superfosfato simples na mesma dose testada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alovisi, A.M.T.; Gomes, W.L.; Alovisi, A.A.; Silva, J.A.M.; Silva, R.S.; Cassol, C.J.; Muglia, G.R.P.; Villalba, L.A.; Soares, M.S.P.; Tebar, M.M.; Cervi, R.F.; Rodrigues, R.B.; Gning, A. (2020). Atributos químicos do solo e componentes agronômicos na cultura da soja pelo uso do pó de basalto. **Impacto, excelência e produtividade das ciências agrárias no Brasil** 3. cap. p13-26. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4902021052>
- Alovisi, A.M.T.; Taques, M.M.; Alovisi, A.A.; Tokura, L.K.; Silva, R.S.; Piesanti, G.H.L.M. (2017). Alterações nos atributos químicos do solo com aplicação de pó de basalto. **Acta Iguazu**, v.6, n.5, p69-79. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v6i5.18471>.
- Alovisi, A.M.T. (2020). Rochagem como alternativa sustentável para a fertilização de solos. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 918-932. <https://doi.org/10.19177 / rgsa.v9e0I2020918-932>.
- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6), 711–728. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Barbosa Filho, M.P.; Zimmermann, F.J.P.; Silva, O.F.S. (2004). Influência da escória silicatada na acidez do solo e na produtividade de grãos do arroz de terras altas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 2, p. 323-331.
- Batista, N.T.F.; Ragagnin, V.A.; Hack, E.; Görden, A.L.; Martins, E.S. (2017). Atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob cultivo de soja e sorgo submetido ao uso de basalto moído. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, p.241-247.
- BRASIL. **Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016**. (2016). Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. Diário Oficial da União, Brasília.
- Cabral, C.E.A.; Cabral, L.S.; Silva, E.M.B.; Carvalho, K.S.; Kroth, B.E.; Cabral, C.H.A. (2016). Resposta da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu a fertilizantes nitrogenados associados ao fosfato natural reativo. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 1, p. 66–72.
- Céser, L.G. (2019). **Fosfato natural reativo em combinação com superfosfato triplo no plantio do milho em vasos** (Monografia-Agronomia). Centro Universitário Mário Palmério. Monte Carmelo, MG, Brasil. Disponível em: <<http://repositorio.fucamp.com.br/jspui/handle/FUCAMP/452>>.
- Companhia Nacional De Abastecimento - CONAB. (2021). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. v.8 - Safra 2020/21, n.12. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>.

- Fageria, N.K.; Barbosa Filho, M.P.; Garber, M.J. (1982). Nível ótimo de nutrientes e densidade de plantio de arroz para experimentos em casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 9, p.1279 - 1284.
- FAO. (2020). **FAOSTAT - Database of Food and Agriculture Organization**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity>.
- Ferreira, D.F. (2019). Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529.
- Gillman, G.P.; Burkett, D.C.; Coventry, R.J. (2002). Amending highly weathered soils with finely ground basalt rock. **Applied Geochemistry**, v. 17, n. 8, p. 987-1001.
- Gomes, A.S.; Ferreira, L.H. G.; Bender, R.R. (2005). **Uso de fosfato natural no cultivo de arroz, soja e milho em rotação, no sistema plantio direto**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado. Disponível em:<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/43871/1/boletim-20.pdf>>.
- Gonçalves, G.K.; Meurer, E.J. (2008). Disponibilidade de fósforo em solos cultivados com arroz irrigado por alagamento no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32, 2745-2750.
- Lange, A.; Diel, D.; Carvalho, F.F.; Machado, R.A.F.; Zanuzo, M.R.; Silva, A.; Buchelt, A.C. (2016). Fontes de fósforo na adubação corretiva em arroz de terras altas em cultivo de primeiro ano. **Revista de Ciências Agroambientais**, v.14(1), p. 67-75. <https://doi.org/10.5327/rcaa.v14i1.1412>
- Lange, A.; Diel, D.; Carvalho, F.F.; Machado, R.A.; Zanuzo, M.R.; Silva, A.; Buchelt, A.C. (2016). Fontes de fósforo na adubação corretiva em arroz de terras altas em cultivo de primeiro ano. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 14, p. 67-75. <https://doi.org/10.5327/rcaa.v14i1.1412>
- Li, J.; Zhang, W.; Li, S.; Li, X.; Lu, J. (2014). Effects of citrate on the dissolution and transformation of biotite, analyzed by chemical and atomic force microscopy. **Applied Geochemistry**, v. 51, p. 101-108.
- Lima, F.F. (2018). **Avaliação de doses e fontes de fosfatos parcialmente e totalmente acidulados na produção do arroz de terras altas no segundo ano de cultivo** (Monografia em agronomia). Universidade Federal de Mato Grosso. Alto Araguaia, MT, Brasil. Disponível em: <<http://bdm.ufmt.br/handle/1/636>>.
- Martins, V.; Silva, D.R.G.; Marchi, G.; Leite, M.C.A.; Martins, E.S.; Gonçalves, A.S.F.; Guilherme, L. R. G. (2015). Effect of alternative multinutrient sources on soil chemical properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.1, p.194-204.
- Osterroht, M.V. (2003). Rochagem para quê? **Revista Agroecologia Hoje**, Botucatu, SP, n. 20, p. 12-15.
- Raij, B.; Diest, B. (1980). Phosphate supplying power of rock phosphate in an Oxisol. **Plant Soil**, The Hague, p. 55:97 - 104.
- Raij, B. (1978). Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 2:1-9.
- Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez Venegas, V.H. (1999). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5 a aproximação**. Viçosa: CFSEMG, p. 359.
- Ribeiro, R. **Alta nos preços dos fertilizantes no 1º trimestre de 2020**. Disponível em: <<https://www.scotconsultoria.com.br/noticias/todas-noticias/52307/alta-nos-precos-dos-fertilizantes-no-1o.-trimestre-de-2020.htm>>.
- Rocha Neto, A.R. (2020). **Solubilização de pó de fonolito em Latossolo Vermelho distroférrico por ação de poáceas cultivadas como plantas de cobertura**. 45 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal.
- Santiago, C.M.; Breseghello, H.C. P.; Ferreira, C.M. (2013). **Arroz: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2. ed. rev. Ampl. - Brasília, DF. 245p. (Coleção 500 perguntas, 500 Respostas).

Sidra. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: **Cultura do Arroz de Sequeiro**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental. 29 p. <<https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>>.

Silva, L.S.; Ranno, S.K.; Rhoden, A.C.; Santos, D.R.; Graupe, F.A. (2008). Avaliação de métodos para estimativa da disponibilidade de fósforo para arroz em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.3, n. 1. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100020>

Silva, A.; Almeida, J.A.; Schmitt C.; Amarante, C.V.T. (2012). Fertilidade do solo e desenvolvimento de feijão-comum em resposta a adubação com pó de rocha. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 4, p. 548-554.

Silva, M. C. (2011). **Eficiência agronômica de fosfatos reativos sob diferentes formas de manejo da adubação** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO, Brasil. 80 p.

Systat Software. (2011). **SigmaPlot**. Disponível em: <<https://systatsoftware.com/products/sigmaplot/sigm aplot-product-updates/>>.

Sustakowski, M.C. (2021). **Teor de nutrientes, propriedades físicas do solo e produtividade de soja após a aplicação de pó de rocha associado a plantas de cobertura** (Dissertação). Universidade estadual do oeste do paraná. Marechal Cândido Rondon – Paraná.

Teixeira, P.C.; Donagemma, G.K.; Fontana, A.; Teixeira, W.G. (2017). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos.

Toscani, R.; Campos, J.E.C. (2017). Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados. **Geociências**, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 259-274.

Vahl, L.C. (1999). **Fertilidade de solos de várzea**. In: Gomes, A. da S.; Pauletto, E.A., (Ed.). Manejo de solo e da água em áreas de várzea. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. p. 119-162.

Veloso, C.A.C. Botelho, S.M. Lopes, A.M. Carvalho, E.J.M. (2009). **Nutrição Mineral e Adubação da**